

**DEVICE AND METHOD FOR MEASURING FOCAL LENGTH OF OPTICAL SYSTEM**

Patent Number: JP7055638  
Publication date: 1995-03-03  
Inventor(s): SHIMOZONO HIROAKI; others: 01  
Applicant(s): ASAHI GLASS CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP7055638  
Application Number: JP19930225124 19930818  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01M11/02  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To measure in an almost actual arrangement the focal length of an optical system which is specified to have finite focal length by providing an arithmetic means for computing the focal length of the optical system for measurement, from the position of a generating means for a divergent beam of light and from the position of the optical system for measurement.

**CONSTITUTION:** A generating means 1 for a divergent beam of light has a semiconductor laser 2, and an optical support 3 (stand 4 and bench 5) supports the generating means 1 in such a manner that the means freely moves along its optical axis. The position of the generating means 1 is read by a reader means 6 (laser gage interferometer 7) and stored in a storage means 8. An optical support 12 (stand 13 and bench 14) supports an optical system 19 to be measured, in such a manner that the system freely moves along its optical axis. The position of the optical system 9 to be measured is read by a reader means 15 (laser gage interferometer 16) and stored in a storage means 17. A light-beam convergent-point detection means 9 (two-dimensional CCD sensor 10) detects the convergent point of a beam of light emitted from the optical system 19. An arithmetic means 18 computes the focal length of the optical system 19 from the values stored in the storage means the 8, 17.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-55638

(43) 公開日 平成7年(1995)3月3日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 1 M 11/02

識別記号

庁内整理番号

B 9309-2G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願平5-225124

(22) 出願日

平成5年(1993)8月18日

(71) 出願人

000000044

旭硝子株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目1番2号

(72) 発明者

下 藺 裕 明

神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地

旭硝子株式会社中央研究所内

(72) 発明者

若 林 常 生

神奈川県横浜市神奈川区羽沢町1150番地

旭硝子株式会社中央研究所内

(74) 代理人

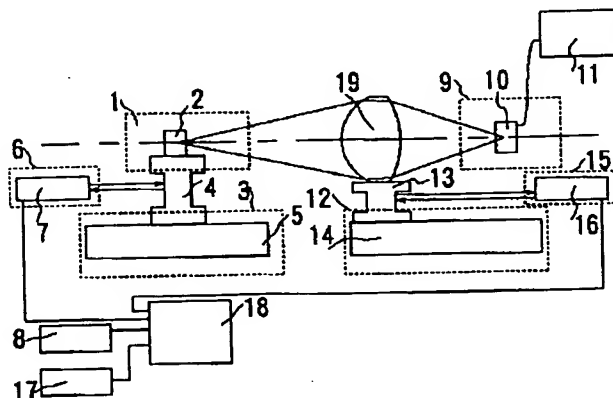
弁理士 泉 名 謙 治

(54) 【発明の名称】 光学系の焦点距離測定装置及び測定方法

(57) 【要約】

【目的】 有限物像間距離の光学系の焦点距離を、使用共役条件に近い配置で測定する。

【構成】 移動自在に支持された被測定光学系19への発散光束生成手段1と、被測定光学系19を移動自在に支持する光学支持体3と、被測定光学系19からの出射光束の収束点検出手段9とからなり、光束収束点が検出される発散光束生成手段1と被測定光学系19の位置とから、焦点距離を演算する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 発散光束生成手段と、発散光束生成手段を移動自在に支持する光学支持体と、発散光束生成手段の位置の読取手段と、読取手段で読み取られた発散光束生成手段の位置の記憶手段と、被測定光学系をその光軸方向に移動自在に支持する光学支持体と、被測定光学系の位置の読取手段と、読取手段で読み取られた位置の記憶手段と、被測定光学系から出射する光束の収束点を検出する光束収束点検出手段と、発散光束生成手段の位置及び被測定光学系の位置から、被測定光学系の焦点距離を

$$x = \frac{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$y = \frac{[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] - [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

ただし

$$\Delta x_i = x_i - x_j$$

$$\Delta y_i = y_i - y_j$$

j は1からNの任意の整数

$$i = 1, 2, \dots, N$$

【請求項3】 被測定光学系を移動し、被測定光学系からの出射する光束の収束点が光束収束点検出手段により検出される位置を求めることを、少なくとも3箇所の発散光束生成手段の位置に対して行い、各々における発散光束生成手段の位置と被測定光学系の位置とから、被測定光学系の焦点距離を求めることを特徴とする光学系の焦点距離測定方法。

【請求項4】 発散光束生成手段を移動し、被測定光学系から出射する光束の収束点が光束収束点検出手段により検出される位置を求めることを、少なくとも3箇所の被測定光学系の位置に対して行い、各々における、被測定

算出する演算手段とを備えたことを特徴とする光学系の焦点距離測定装置。

【請求項2】 少なくとも3箇所のN箇所の発散光束生成手段の位置を  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とし、被測定光学系の位置を  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とするとき、請求項1の焦点距離を算出する演算手段が、数1により算出する演算手段であることを特徴とする光学系の焦点距離測定装置。

【数1】

光学系の位置と、発散光束生成手段の位置とから、被測定光学系の焦点距離を求めることを特徴とする光学系の焦点距離測定方法。

【請求項5】 少なくとも3箇所の発散光束生成手段の位置  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) と、被測定光学系の位置を  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とから、数2により被測定光学系の焦点距離を算出することを特徴とする請求項3または請求項4の光学系の焦点距離測定方法。

【数2】

$$x = \frac{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$y = \frac{[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] - [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

ただし

$$\Delta x_i = x_i - x_j$$

$$\Delta y_i = y_i - y_j$$

j は 1 から N の任意の整数

$$i = 1, 2, \dots, N$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、光学系の焦点距離の測定装置及び測定方法に関する。

【0002】

【従来の技術】レンズの焦点距離測定装置として、図8と図9で示される構成のものが従来から知られている。

【0003】図8の測定装置は、ノーダルスライド法と呼ばれる測定方法に用いる装置であって、光源51、標線52、コリメーターレンズ53、光軸方向に移動できる摺動台54と回転台55からなるノーダルスライド台56、光軸方向に移動可能な光学ベンチ57に設置された顕微鏡58を備えている。標線52はコリメーターレンズ53の焦点位置に配置される。被験レンズ59はノーダルスライド台56に載せてある。

【0004】被験レンズ59を、回転台55により光軸に垂直な方向に僅かな角度回転してもコリメーターレンズ53の焦点に置いた標線52の像が動かなくなるように、ノーダルスライド台56の摺動台54と顕微鏡58を光軸方向に調整して、そのときの顕微鏡58の位置「S」を読み取る。

【0005】次に被験レンズ59の代わりに標線を刻んだガラス板を、標線の方向が回転台55の回転軸とほぼ平行に、かつ標線側を顕微鏡58に向けてノーダルスライド台56に取り付け、回転台55により光軸方向に垂直な方向に回転しても顕微鏡58で観察したガラスの標線の像が動かなくなるように、摺動台54と顕微鏡58

を光軸方向に調整する。そのときの顕微鏡58の位置「S<sub>0</sub>」とすると、被験レンズ59の焦点距離は|S - S<sub>0</sub>|で与えられる。

【0006】図9の測定装置は、倍率法と呼ばれる測定方法に用いられる装置であって、光源60、長さyが既知の標板61、焦点距離f<sub>0</sub>が既知のコリメーターレンズ62、顕微鏡63を備えている。

【0007】標板61はコリメーターレンズ62の焦点位置に配置される。被験レンズ59をコリメーターレンズ62の後方に光軸を一致させて配置し、被験レンズ59の焦点面64に生ずる標板61の像の大きさy'を顕微鏡63で測定する。そのとき被験レンズの焦点距離は(y' / y) · f<sub>0</sub>で与えられる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】光ディスク用光学系において用いられる、光源から光束をコリメーターレンズを介さずに直接ディスク面に集光させる所謂有限仕様の対物レンズは、コリメーターレンズが不要なため、その構成が単純化される、コストダウンが図れる、等の利点を有するため、広く用いられている。この種の光ディスク用途の対物レンズは、プラスチックの射出成形によって、その量産化がなされているが、近年プラスチックの射出成形技術の向上と相まって光ディスク用途の対物レンズも更なる高精度化、高性能化が望まれるようになった。したがって製造されたレンズが、設計値通りであるか厳しい検査が必要となり、光学系の最も基本的な幾何光学的特性である焦点距離も、重要な検査項目のひとつ

となっている。

【0009】一方、前述の従来公知の焦点距離測定法であるノーダルスライド法も、倍率法も、平行光束を被験レンズで結像させる構成となっており、無限遠の物体を結像させるカメラレンズ等では良好に測定されるが、有限仕様の光ディスク用途の対物レンズのように有限位置の物体を集光するレンズでは、収差による像のボケの発生が大きくなるため、高精度に測定できないという問題があった。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は前述の課題を解決すべくなされたものであり、発散光束生成手段と、発散光束生成手段を移動自在に支持する光学支持体と、発散光束生成手段の位置の読取手段と、読取手段で読み取られた発散光束生成手段の位置の記憶手段と、被測定光

$$x = \frac{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$y = \frac{[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] - [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

ただし

$$\Delta x_i = x_i - x_j$$

$$\Delta y_i = y_i - y_j$$

j は 1 から N の任意の整数

$$i = 1, 2, \dots, N$$

【0013】また、本発明は被測定光学系を移動し、被測定光学系からの出射する光束の収束点が光束収束点検出手段により検出される位置を求めることを、少なくとも 3 箇所の発散光束生成手段の位置に対して行い、各々における発散光束生成手段の位置と被測定光学系の位置とから、被測定光学系の焦点距離を求めることを特徴とする光学系の焦点距離測定方法を提供する。

【0014】また、本発明は発散光束生成手段を移動し、被測定光学系から出射する光束の収束点が光束収束点検出手段により検出される位置を求めることを、少なくとも 3 箇所の被測定光学系の位置に対して行い、各々における、被測定光学系の位置と、発散光束生成手段の

光学系をその光軸方向に移動自在に支持する光学支持体と、被測定光学系の位置の読取手段と、読取手段で読み取られた位置の記憶手段と、被測定光学系から出射する光束の収束点を検出する光束収束点検出手段と、発散光束生成手段の位置及び被測定光学系の位置から、被測定光学系の焦点距離を算出する演算手段とを備えたことを特徴とする光学系の焦点距離測定装置を提供する。

【0011】また、本発明は少なくとも 3 箇所の N 箇所の発散光束生成手段の位置を  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とし、被測定光学系の位置を  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とするとき、上記焦点距離を算出する演算手段が、数 3 により算出する演算手段であることを特徴とする光学系の焦点距離測定装置を提供する。

【0012】

【数 3】

位置とから、被測定光学系の焦点距離を求めることを特徴とする光学系の焦点距離測定方法を提供する。

【0015】さらに本発明は、少なくとも 3 箇所の発散光束生成手段の位置  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) と、被測定光学系の位置  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とから、前記数 3 により被測定光学系の焦点距離を算出することを特徴とする上記光学系の焦点距離測定方法を提供する。

【0016】本発明の測定装置の構成を、図 1 により説明する。本発明の測定装置は、発散光束生成手段 1 (実施例では半導体レーザー 2) と、発散光束生成手段 1 をその光束の光軸方向に移動自在に支持する光学支持体 3

(実施例では載物台 4 及び光学ベンチ 5) と、発散光束生成手段 1 の位置の読取手段 6 (実施例ではレーザー干渉測長器 7) と、読取手段 6 で読み取られた位置の記憶手段 8 と、被測定光学系 19 を、その光軸方向に移動自在に支持する光学支持体 12 (実施例では載物台 13 及び光学ベンチ 14) と、被測定光学系 19 の位置の読取手段 15 (実施例ではレーザー干渉測長器 16) と、読取手段 15 で読み取られた位置の記憶手段 17 と、被測定光学系 19 から出射する光束の収束点を検出する光束収束点検出手段 9 (実施例では 2 次元 CCD センサー 10) と、記憶手段 8、及び記憶手段 17 に記憶された値から被測定光学系の焦点距離を演算する演算手段 18 とを備える。

【0017】次に、本発明の測定方法を、図 1 及び図 2 により説明する。本発明の測定方法は以下の手順からなる。

【0018】発散光束生成手段 1 の位置の設定数  $N$  ( $\geq 3$ ) を決めた後、発散光束生成手段 1 を第 1 の設定位置に設置する (ステップ 1)。

【0019】被測定光学系 19 を、その光軸方向に移動し、光束収束点検出手段 9 が光束収束点を検出する被測定光学系 19 の位置を求める (実施例では 2 次元 CCD センサー 10 により画像として観察される光束の光束径が最小になる被測定光学系 19 の位置を求める。) (ステップ 2)。

【0020】発散光束生成手段 1 の位置  $x_1$ 、及び被測定光学系 19 の位置  $y_1$  を読み取り、記憶させた後 (ステップ 3)、発散光束生成手段 1 を第 2 の設定位置へ移動する (ステップ 4)。

【0021】以下発散光束生成手段 1 の位置の設定数  $N$  を満足するまでステップ 2、3、4 を繰り返す。

【0022】こうして求めた  $N$  組の共役配置における、発散光束生成手段 1 の設定位置  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) と、被測定光学系 19 の位置  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とから、演算手段 18 を用いて焦点距離を算出する。

【0023】また、本発明の他の測定方法を説明する。図 1 及び図 3 により説明する。本発明の他の測定方法は以下の手順からなる。

【0024】被測定光学系 19 の光軸方向の位置の設定数  $N$  ( $\geq 3$ ) を決めた後、第 1 の設定位置に設置する (ステップ 11)。

【0025】発散光束生成手段 1 を、被測定光学系 19 の光軸方向に移動し、光束収束点検出手段 9 により光束収束点を検出される発散光束生成手段 1 の位置を求める。(実施例では CCD センサー 10 により画像として観察された光束の光束径が最小になる発散光束生成手段 1 の位置を求める。) (ステップ 12)

【0026】発散光束生成手段 1 の位置  $x_1$  及び被測定光学系 19 の位置  $y_1$  を読み取り、記憶させた後 (ステ

ップ 13)、被測定光学系 19 を第 2 の設定位置へ移動する (ステップ 14)。

【0027】以下被測定光学系 19 の位置の設定数  $N$  を満足するまでステップ 2、3、4 を繰り返す。

【0028】こうして求めた  $N$  組の共役配置における、発散光束生成手段 1 の設定位置  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) と、被測定光学系 19 の位置  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) とから、演算手段 18 を用いて焦点距離を算出する。

【0029】

【作用】図 4 を参照して、本発明に用いた焦点距離算出の原理を説明する。レンズ  $L$  から有限の位置にある物点を  $O$ 、物点  $O$  のレンズ  $L$  による像点を  $I$ 、レンズ  $L$  の前側 (物体側) 焦点位置を  $F$ 、レンズ  $L$  の後側 (像側) 焦点位置を  $F'$  とし、 $O$  と  $F$  の距離を  $x$ 、 $F'$  と  $I$  の距離を  $y$ 、レンズ  $L$  の焦点距離を  $f$  とすると、ニュートンの式 (数 4) が成り立つ。

【0030】

【数 4】  $x \cdot y = f \cdot f$

【0031】物点  $O$  を  $O'$  に  $\Delta x$  移動 (物点  $O$  がレンズ  $L$  に近づく方向を正とする) させ、レンズ  $L$  を  $\Delta y$  移動 (レンズ  $L$  が物点  $O$  から遠ざかる方向を正とする) したときに像点  $I$  の位置の移動がないとすると、数 5 もまた成立することになる。

【0032】

【数 5】  $(x - \Delta x + \Delta y) (y - \Delta y) = f \cdot f$

【0033】したがって、物点を光軸方向に異なる 3 箇所  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  に設定し、それぞれに対するレンズの位置が  $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_3$  のときに像点の位置の移動がなかったとすると、数 6 の 2 つの式が成立し、またニュートンの式 (数 4) も成立しているので、これら 3 つの式を連立方程式として解き、 $x$ 、 $y$ 、 $f$  を数 7 により求めることができる。

【0034】

【数 6】  $(x - (x_2 - x_1) + (y_2 - y_1)) (y - (y_2 - y_1)) = f \cdot f$   
 $(x - (x_3 - x_1) + (y_3 - y_1)) (y - (y_3 - y_1)) = f \cdot f$

【0035】

【数 7】

$$x = \frac{-\Delta x_2 \Delta x_3 \Delta y_2 + \Delta x_2 \Delta x_3 \Delta y_3}{-\Delta x_3 \Delta y_2 + \Delta x_2 \Delta y_3}$$

$$y = \frac{\Delta x_3 \Delta y_2 \Delta y_3 - \Delta x_2 \Delta y_2 \Delta y_3}{-\Delta x_3 \Delta y_2 + \Delta x_2 \Delta y_3}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

ただし

$$\Delta x_2 = x_2 - x_1$$

$$\Delta x_3 = x_3 - x_1$$

$$\Delta y_2 = y_2 - y_1$$

$$\Delta y_3 = y_3 - y_1$$

【0036】さらに、物点Oを光軸方向に異なるN箇所 ( $N \geq 3$ )  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) に設定した場合には、次のように焦点距離  $f$  を求めることができる。

【0037】物点  $x_i$  に対する像点位置が動かないレンズ位置を  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) として、数8のN個の式が成立する。

【0038】

$$\text{【数8】 } (x - (x_i - x_j) + (y_i - y_j)) (y - (y_i - y_j)) = f \cdot f$$

( $i = 1, 2, \dots, N$ )

( $j$  は1からNまでの任意の整数)

【0039】数9の ( $N-1$ ) 個の式に、ニュートンの式(数4)を代入し、両辺を展開整理すると、数10となり、 $x$ 、 $y$  について線形の ( $N-1$ ) 個の式を得る。

【0040】

$$\text{【数9】 } (x - (x_i - x_j) + (y_i - y_j)) (y - (y_i - y_j)) = f \cdot f$$

( $i = 1, 2, \dots, N$ 、ただし  $i = j$  を除く)

【0041】

$$\text{【数10】 } -(y_i - y_j) x + (- (x_i - x_j) + (y_i - y_j)) y = - (y_i - y_j) ((x_i - x_j) - (y_i - y_j))$$

( $i = 1, 2, \dots, N$ 、ただし  $i = j$  を除く)

( $j$  は1からNまでの任意の整数)

【0042】これら ( $N-1$ ) 個の式を観測方程式とし、最小自乗法を適用することにより、数3のように  $x$ 、 $y$ 、 $f$  を求めることができる。

【0043】測定箇所が3箇所の場合と3箇所以上の場合に分けて説明したが、数3において  $N = 3$ 、 $j = 1$  の場合は数7の結果に一致するので、数3が焦点距離を求める一般式となる。

【0044】本発明の測定装置、及び測定方法はこの原理に基づき構成されたものであり、発散光束生成手段1を、光学支持体3で移動自在に支持することで、物点の位置を変更できる。

【0045】被測定光学系19の移動は、被測定光学系19を光学支持体12で移動自在に支持することで行う。

【0046】発散光束生成手段1の位置に対して、被測定光学系19を移動させ、光束収束点検出手段9が光束収束点を検出する位置を求めることで、物点と像点が共役であることの確認ができる。また、被測定光学系19の位置に対して、光束収束点検出手段9が光束収束点を検出するように、被測定光学系19を移動させて、物点と像点の共役の確認をしてもよい。

【0047】演算手段18は、少なくとも3箇所の共役配置に対する、被測定光学系19の位置の値と、光束収束点検出手段9の位置の値とから被測定光学系19の焦点距離を演算する機能を有する。

【0048】以上により、本発明は、被測定光学系の物像間距離を有限の配置にして焦点距離の測定を可能とするものである。

【0049】

【実施例】実施例の測定装置を、図1により説明する。実施例の測定装置は、発散光束生成手段1と、発散光束生成手段1をその光束の光軸方向に移動自在に支持する光学支持体3と、発散光束生成手段1の位置の読取手段6と、読取手段6で読み取られた位置の記憶手段8と、被測定光学系19をその光軸方向に移動自在に支持する光学支持体12と、被測定光学系19の位置の読取手段15と、読取手段15で読み取られた位置の記憶手段17と、被測定光学系からの光束の収束点を検出する光束収束点検出手段9と、記憶手段8と記憶手段17で記憶された発散光束生成手段1と被測定光学系19の位置情報をもとに、被測定光学系の焦点距離を演算する演算手段18とを備える。被測定光学系19は、発散光束生成手段1からの発散光束中に、光軸をほぼ一致させて配置される。以下に各部位毎の説明を行う。

【0050】(発散光束生成手段1) 半導体レーザー2からの発散光束を用いる。

【0051】(光学支持体3) 発散光束生成手段1を保持する載物台4と光学ベンチ5からなる。光学ベンチ5は、発散光束生成手段1の光束の光軸方向に長くなったものである。この上に置かれた載物台4は図示しないパルスモーターと送りねじで光学ベンチ5上を移動自在となっている。

【0052】(読取手段6) 載物台4に図示しないコーナキューブを取り付け、レーザー干渉測長器7により半導体レーザー2と一体で移動する載物台4の光学ベンチ5に対する位置を読み取る。方向は、載物台4(半導体レーザー2)が被測定光学系19に近づく方向を正と

する。

【0053】（記憶手段8）レーザー干渉測長器7で読み取られた位置情報はA/D変換され、記憶手段8に記憶される。

【0054】（光束収束点検出手段9）2次元CCDセンサー10である。得られる画像はモニター11で観察する。2次元CCDセンサー10上に集光する光束の光束径が最小となると、被測定光学系9の像面が2次元CCDセンサー上にあると判断する。

【0055】（光学支持体12）被測定光学系19を保持する載物台13と光学ベンチ14からなり、光学ベンチ14は、被測定光学系の光軸方向に長くなったものである。この上に置かれた載物台13は図示しないパルスモーターと送りねじで光軸方向に移動自在となっている。

【0056】（読取手段15）載物台13に図示しないコーナークューブを取り付け、レーザー干渉測長器16

により、被測定光学系19と一体で移動する載物台13の光学ベンチ14に対する位置を読み取る。方向は、載物台13（2次元CCDセンサー10）が光束収束点検出手段9に近づく方向を正とする。

【0057】（記憶手段17）レーザー干渉測長器16で読み取られた位置情報はA/D変換され、記憶手段17に記憶される。

【0058】（演算手段18）共役関係にあるN箇所（ $N \geq 3$ ）の発散光束生成手段1の位置（載物台4の光学ベンチ5に対する位置として読み込んだ値） $x_i$ （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）と、被測定光学系19の位置（載物台13の光学ベンチ14に対する位置として読み込んだ値） $y_i$ （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）とから数11により被測定光学系の焦点距離を演算する機能を有する。

【0059】

【数11】

$$x = \frac{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$y = \frac{[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] - [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

ただし

$$\Delta x_i = x_i - x_1$$

$$\Delta y_i = y_i - y_1$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

【0060】実施例の測定方法を、図1及び図2により説明する。

【0061】発散光束生成手段1の位置の設定数N（ $\geq 3$ ）を決めた後、発散光束生成手段1からの光束が、被測定光学系19に光軸にほぼ一致して導かれるように、発散光束生成手段1を第1の設定位置に設置する（ステップ1）。光束収束点検出手段9が、光束径最小であることを検出する被測定光学系19の位置を、被測定光学系19をその光軸方向に移動することにより求める（ステップ2）。

【0062】発散光束生成手段1の位置 $x_1$ 及び被測定

光学系19の位置 $y_1$ を読み取り、記憶させた後（ステップ3）、発散光束生成手段1を第2の設定位置へ移動する（ステップ4）。

【0063】以下発散光束生成手段1の位置の設定数Nを満足するまでステップ2、3、4を繰り返す。

【0064】こうして求めたN組の発散光束生成手段1の設定位置 $x_i$ （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）と、被測定光学系19の位置 $y_i$ （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）とから演算手段18により被測定光学系の焦点距離を算出する。

【0065】また、実施例の他の測定方法を図1及び図

3により説明する。

【0066】被測定光学系19の位置の設定数 $N$  ( $\geq 3$ )を決めた後、発散光束生成手段1からの光束が、被測定光学系19に光軸にほぼ一致して導かれるように、被測定光学系19を第1の設定位置に設置する(ステップ11)。光束収束点検出手段9が、光束径最小であることを検出する発散光束生成手段1の位置を、発散光束生成手段1をその光束の光軸方向に移動することにより求める(ステップ12)。

【0067】発散光束生成手段1の位置 $x_1$ 及び被測定光学系19の位置 $y_1$ を読み取り、記憶させた後(ステップ13)、被測定光学系19を第2の設定位置へ移動する(ステップ14)。

【0068】以下被測定光学系19の位置の設定数 $N$ を満足するまでステップ12、13、14を繰り返す。

【0069】こうして求めた $N$ 組の発散光束生成手段1の設定位置 $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )と、被測定光学系19の位置 $y_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ )とから演算手段18により被測定光学系の焦点距離を算出する。

【0070】ところで、この発明は上述の実施例に限定されない。光束の収束点の検出手段としては、光束中に1次元のラインセンサーをおき、光束径が最小となることを検出してもよい。

【0071】また、図5に示すような検出手段でもよい。即ちピンホール20。リレーレンズ21、光電変換素子22からなり、光電変換素子22をピンホール20のリレーレンズ21による共役位置に配置する。この検出手段を収束点をもつ光束中を光束の光軸方向に移動させると、ピンホール20が光束の収束点に一致したときに光電変換素子22の出力が最大となり、収束点を検出することが可能である。あるいは、図6に示す干渉パターンを利用する構成でもよい。即ちレーザー光源23、レンズ(24、25、26)からなる発散光束生成手段1の光束中に設けた、光束の一部を来た光路に沿って逆行反射させる反射手段27と、被測定光学系19出射後の光束を逆行反射させる反射手段28と、により構成するのである。

【0072】反射手段28が図6に示すような凹面の場合は、収束点の後方に配置し、凹面の球心が光束の収束点に一致したときに、光束が来た光路に沿って逆行反射するので、反射手段27で反射された光束との干渉により干渉パターンが得られる。反射手段28が凸面の場合は、収束点より被測定光学系19に近付けて配置し、凸面の球心が光束の収束点に一致したときに、光束が来た光路に沿って逆行反射するので、反射手段27で反射された光束との干渉により干渉パターンが得られる。

【0073】反射手段24が平面の場合は、光束の収束点とその平面上にあるとき、光束は光軸に対称に反射し、反射手段27により反射された光束と干渉し、干渉

パターンを得る。

【0074】いずれの場合も、干渉パターンはレンズ30を介して、2次元CCDセンサー31、モニター32で観察される。このように、反射手段28を、収束点の検出手段として用いるのである。

【0075】さらには、発散光束生成手段をインコヒーレント光源と、レンズとで構成し、収束点検出手段を接眼レンズを有する光学系とし、収束点を目視で判断してもよい。

【0076】発散光束生成手段については、白色光源と、分光手段であるモノクロメーターと、を用いて構成し、被測定光学系の波長による焦点距離の違いを測定する構成としてもよい。

【0077】演算手段については、実施例では数3において $j=1$ と置くことによって得られた数11を用いることを示したが、 $j=1$ に限らない。 $j$ は1から $N$ まで $N$ 通りの選択が可能である。また、数3において $j$ を1から $N$ まで $N$ 通りの計算で求めその一部または全部を平均して焦点距離の値としてもよい。

【0078】実施例では、被測定光学系として、屈折系光学系の場合の配置を示したが、図7に示すように、発散光束生成手段1からの光束を、被測定光学系34で反射させ、その光束をハーフミラー33で折り曲げ光束収束点検出手段9に導く配置にすることにより、反射系光学系の焦点距離の測定も可能である。

#### 【0079】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、物像間距離が有限の配置で測定できるので、光ディスク用対物レンズをはじめ、複写機用レンズ、ファクシミリ用レンズ等、有限で使用される目的で設計された光学系を、配置の違いから生じる収差の影響をほとんど受けることなく、実使用に非常に近い配置で測定できる。

【0080】従来技術のノーダルスライド法は、被験レンズの節点をノーダルスライド台回転軸上に載せるために、レンズの回転と光軸方向の移動を交互に繰り返す、複雑な、熟練を要する操作が必要であるが、本発明では、発散光生成手段と収束点検出手段を光軸方向に移動させる操作だけでよく、測定が容易である。また倍率法では、焦点距離が既知にコリメーターレンズ及び寸法が既知の指標を必要としたが、本発明では、光学ベンチ上の載物台の移動量読取手段に用いるスケール以外に、光学特性あるいは寸法が既知の参照物を必要としない。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光学系の焦点距離測定装置の実施例の構成図

【図2】本発明の光学系の焦点距離測定方法の実施例の手順を示す工程図

【図3】本発明の光学系の焦点距離測定方法の他の実施例の手順を示す工程図

【図4】本発明の光学系の焦点距離測定の原理の説明に

供する被測定光学系の構成図

【図5】本発明の光学系の焦点距離測定装置における光束収束点検出手段の変形例の構成図

【図6】本発明の光学系の焦点距離測定装置における光束収束点検出手段の他の変形例の構成図

【図7】本発明を反射凹面鏡に対して実施する場合の配置を示す構成図

【図8】従来技術であるノーダスライド法による焦点距離測定装置の構成図

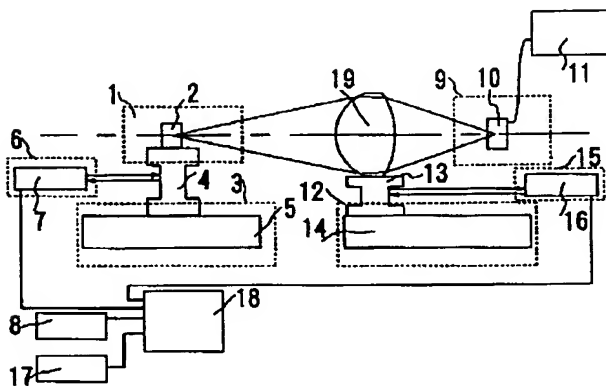
【図9】従来技術である倍率法による焦点距離測定装置の構成図

【符号の説明】

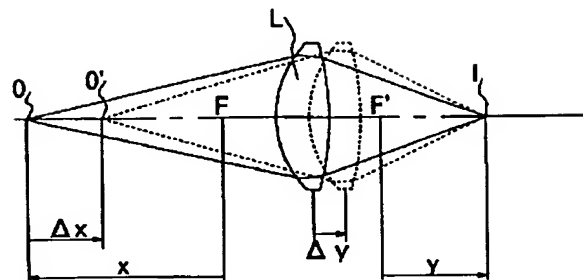
- 1 : 発散光束生成手段
- 2 : 半導体レーザー
- 3 : 光学支持体
- 4 : 載物台
- 5 : 光学ベンチ
- 6 : 読取手段
- 7 : レーザー干渉測長器
- 8 : 記憶手段
- 9 : 収束点検出手段
- 10 : 2次元CCDセンサー
- 11 : モニター
- 12 : 光学支持体
- 13 : 載物台
- 14 : 光学ベンチ
- 15 : 読取手段
- 16 : レーザー干渉測長器
- 17 : 記憶手段
- 18 : 演算手段

- 19 : 被測定光学系
- 20 : ピンホール
- 21 : リレーレンズ
- 22 : 光電変換素子
- 23 : レーザー光源
- 24 : レンズ
- 25 : レンズ
- 26 : レンズ
- 27 : 反射手段
- 28 : 反射手段
- 29 : ハーフミラー
- 30 : レンズ
- 31 : 2次元CCDセンサー
- 32 : モニター
- 33 : ハーフミラー
- 34 : 被測定光学系
- 51 : 光源
- 52 : 標線
- 53 : コリメーターレンズ
- 54 : 摺動台
- 55 : 回転台
- 56 : ノーダスライド台
- 57 : 光学ベンチ
- 58 : 顕微鏡
- 59 : 被験レンズ
- 60 : 光源
- 61 : 標板
- 62 : コリメーターレンズ
- 63 : 顕微鏡
- 64 : 被験レンズの焦点面

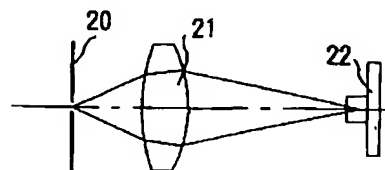
【図1】



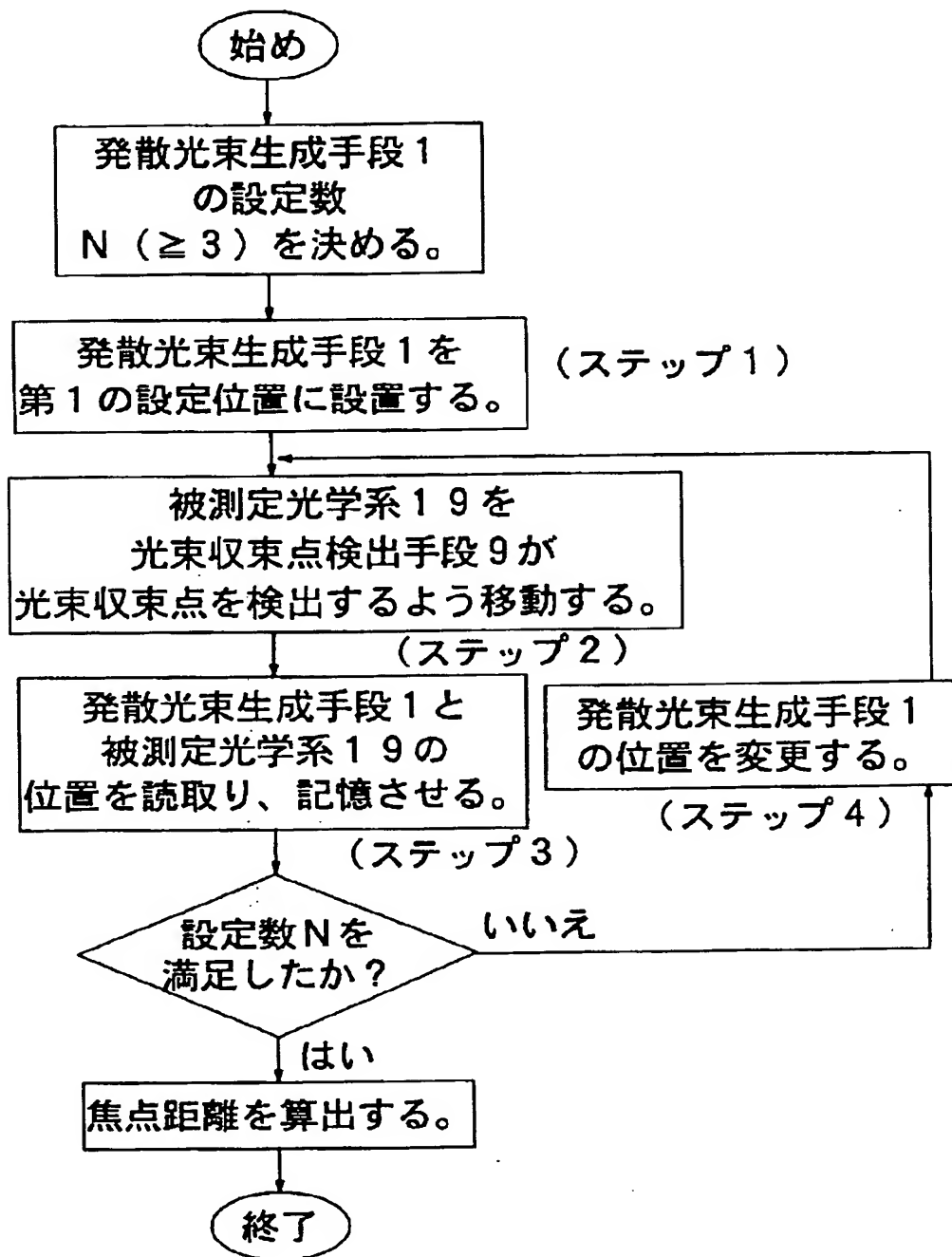
【図4】



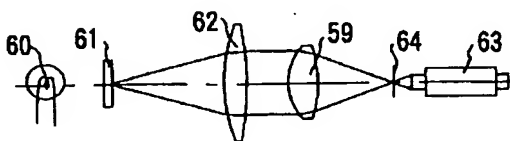
【図5】



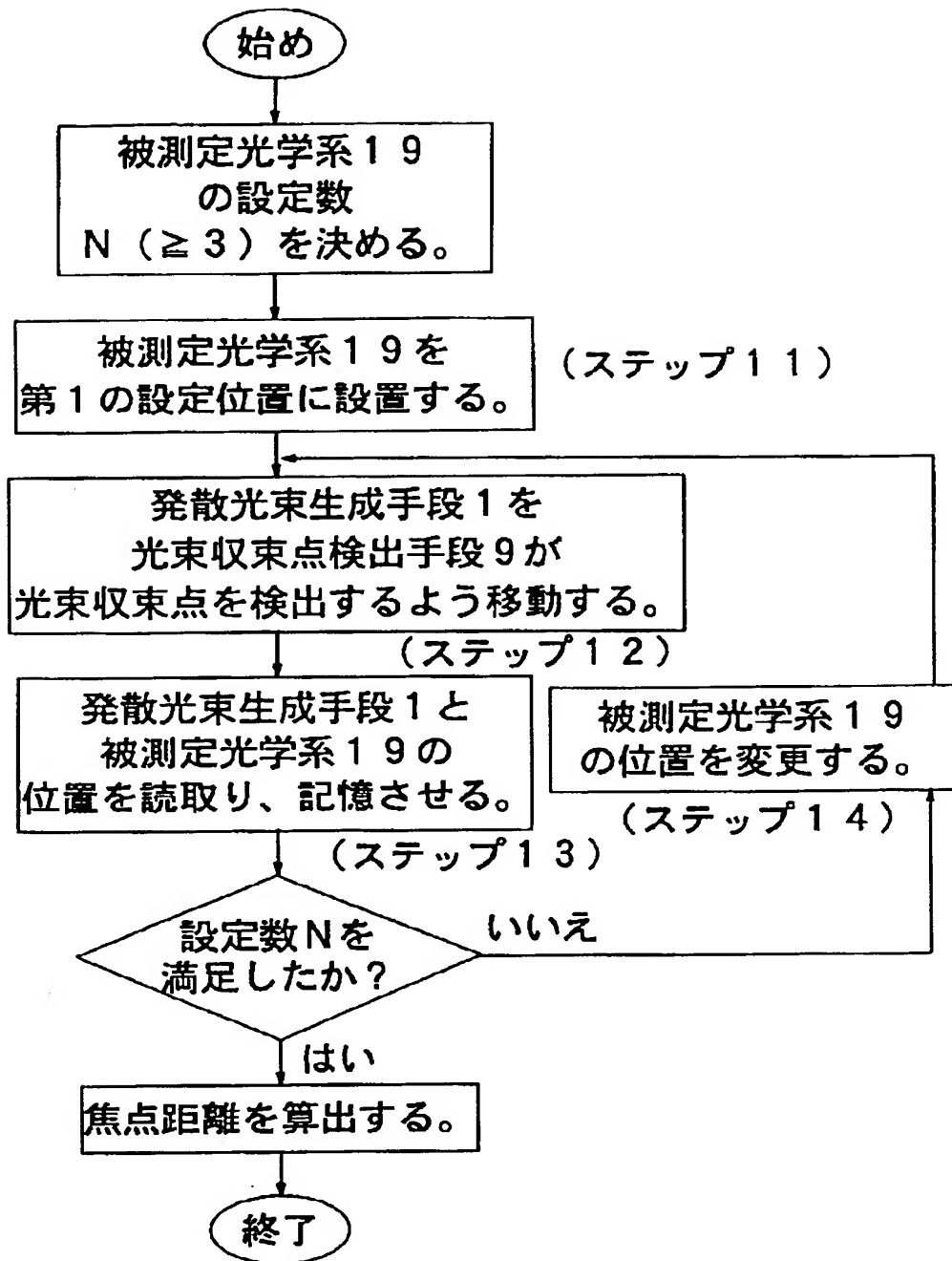
【図 2】



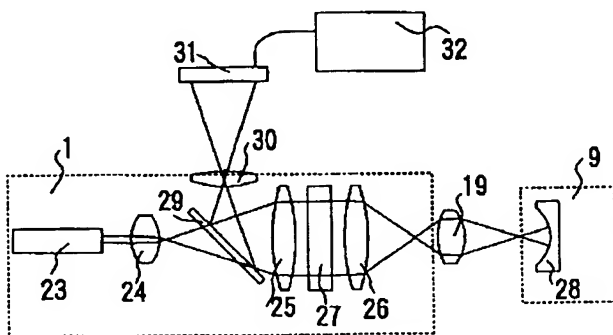
【図 9】



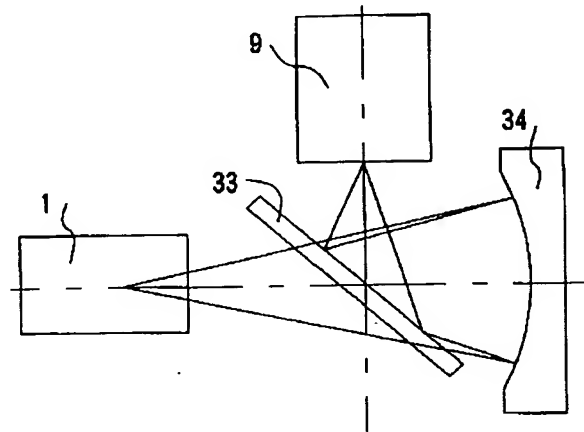
【図 3】



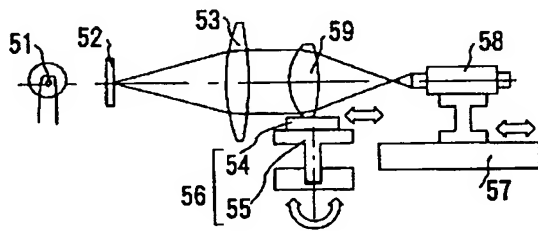
【図 6】



【図 7】



【図 8】



Japanese Unexamined Patent Application, First Publication No. Hei 7-55638

## DETAILED DESCRIPTION OF THE EMBODIMENTS

[0049]

### Embodiments

A device according to embodiments is explained with reference to FIG. 1. A device according to the embodiments comprises a dispersing light flux generating section 1, an optical supporting member 3 which supports the dispersing light flux generating section 1 so as to be freely movable in a direction of an optical axis of the light flux, a reading section for a position of the dispersing light flux generating section 1, a memory section 8 for the position which is read by the reading section 6, an optical supporting member 12 which supports the optical system 19 to be measured so as to be freely movable in a direction of the optical axis, a reading section 15 for a position of the optical system 19 to be measured, a memory section 17 for the position which is read by the reading section 15, a light flux condensing point detecting section 9 which detects a condensing point of the light flux which is from the optical system to be measured, a calculating section 18 which calculates a focal length of the optical system to be measured according to the position information for the dispersing light flux generating section 1 and the optical system 19 to be measured which are stored in the memory storing sections 8 and 17. The optical system 19 to be measured is disposed such that the optical axis of the optical system 19 to be measured

coincides the optical axis of the dispersing light flux which is from the dispersing light flux generating section 1. Explanations are made for parts of the measuring device as follows.

[0050]

(Dispersing light flux generating section 1) uses a dispersing light flux which is from a semiconductor laser 2.

[0051]

(Optical supporting section 3) comprises a mounting base 4 and an optical bench 5 for supporting the dispersing light flux generating section 1. The optical bench 5 is formed by extending the dispersing light flux generating section 1 in a direction of the optical axis of the light flux. The mounting base 4 can freely move on the optical bench 5 by a pulse motor and a feed screw which are not shown in the drawing.

[0052]

(Reading section 6) attaches a corner cube which is not shown in the drawing on the mounting base 4 and reads a position of the mounting base 4 which moves unitarily with the semiconductor laser 2 relatively to the optical bench 5 by the laser interference measuring device 7. A direction in which the mounting base 4 (semiconductor laser 2) approaches the optical system 19 to be measured is a positive direction.

[0053]

(Memory storing section 8)

A/D conversion is performed to the position information which is read by the laser interference measuring device 7. The converted position

information is stored in the memory storing section 8.

[0054]

(Light flux condensing point detecting section 9) is a two dimension CCD sensor 10. An image which is obtained is observed by a monitor 11. When a diameter of the light flux which is condensed on the two dimension CCD sensor 10 is minimum, it is understood that an image surface of the optical system 9 to be measured is on the two dimension CCD sensor.

[0055]

(Optical supporting member 12) comprises a mounting base 13 for supporting the optical system 19 to be measured and an optical bench 14. The optical bench 14 has its longitude in a direction of the optical axis of the optical system to be measured. The mounting base 13 which is disposed thereon can be moved freely in a direction of the optical axis by a pulse motor and a feeding screw which are not shown in the drawing.

[0056]

(Reading section 15) attaches a corner cube which is not shown in the drawing on the mounting base 13 and reads a position of the mounting base 13 which moves unitarily with the optical system 19 to be measured relatively to the optical bench 14 by the laser interference measuring device 16. It is understood that a direction in which the mounting base 13 (two dimension CCD sensor 10) approaches the light flux condensing detecting section 9 is a positive direction.

[0057]

(Memory storing section 17)

A/D conversion of the position information which is read by the laser interference measuring device 16 is performed. The converted position information is stored in the memory storing section 17.

[0058]

(Calculating section 18) has a function for calculating a focal length of the optical system to be measured according to  $N$  pieces ( $N \geq 3$ ) of positions (value which is read as a position of the mounting base 4 relatively to the optical bench 5) having a conjugate relationship  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) of the dispersing light flux generating section 1 and a position (value which is read as a position of the mounting base 13 relatively to the optical bench 14)  $y_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) of the optical system 19 to be measured according to a formula 11.

[0059]

[Formula 11]

$$x = \frac{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$y = \frac{[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2(\Delta y_i)][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] - [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]}{-[\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2][\sum_{i=1}^N (\Delta y_i)^2] + [\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)(\Delta y_i)]^2}$$

$$f = \sqrt{x \cdot y}$$

Note:

$$\Delta x_i = x_i - x_1$$

$$\Delta y_i = y_i - y_1$$

$$i = 1, 2, \dots, N$$

[0060]

Measuring method in the embodiments is explained with reference to FIGS. 1 and 2.

[0061]

N is set to be  $N \geq 3$  as a setting position of the dispersing light flux generating section 1. After that, the dispersing light flux generating section 1 is set at a first setting position (step 1) such that the light flux from the dispersing light flux generating section 1 is introduced so as to approximately coincide the optical axis of the optical system 19 to be measured. The light flux condensing point detecting section 9 determines the position of the optical system 19 to be measured for detecting that the diameter of the light flux is minimum by moving the optical system 19 to be

measured in its optical axis direction (step 2).

[0062]

A position  $x_1$  of the dispersing light flux generating section 1 and a position  $y_1$  of the optical system 19 to be measured are read out and stored (step 3). After that, the dispersing light flux generating section 1 is moved to a second setting position (step 4).

[0063]

The steps 2 to 4 are repeated until the setting number  $N$  for a position of the dispersing light flux generating section 1 is satisfied.

[0064]

The focal length of the optical system to be measured is calculated by the calculating section 18 according to  $N$  pieces of the setting positions  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) for the dispersing light flux generating section 1 and positions  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) for the optical system 19 to be measured which are determined in the above manner.

[0065]

Other measuring method of the embodiments are explained with reference to FIGS. 1 to 3.

[0066]

$N$  is set to be  $N \geq 3$  as a setting position of the optical system 19 to be measured. After that, the optical system 19 to be measured is set at a first setting position (step 11) such that the light flux from the dispersing light flux generating section 1 is introduced so as to approximately coincide the optical axis of the optical system 19 to be measured. The light flux

condensing point detecting section 9 determines the position of dispersing light flux generating section 1 for detecting that the diameter of the light flux is minimum by moving the dispersing light flux generating section 1 in its optical axis direction (step 12).

[0067]

A position  $x_1$  of the dispersing light flux generating section 1 and a position  $y_1$  of the optical system 19 to be measured are read out and stored (step 13). After that, the optical system 19 to be measured is moved to a second setting position (step 14).

[0068]

The steps 12 to 14 are repeated until the setting number  $N$  for a position of the optical system 19 to be measured is satisfied.

[0069]

The focal length of the optical system to be measured is calculated by the calculating section 18 according to  $N$  pieces of the setting positions  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) for the dispersing light flux generating section 1 and positions  $y_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ) for the optical system 19 to be measured which are determined in the above manner.

[0070]

By the way, the present invention is not limited to the above embodiments. It may be acceptable if one dimension line sensor is disposed in a light flux so as to detect the minimum light flux diameter for an alternative detecting section for the light flux condensing point.

[0071]

Also, a detecting section shown in FIG. 5 is acceptable. That is, the detecting section comprises a pin hole 20, a relay lens 21, and an electro-optic converting element 22 in which the electro-optical converting element 22 is disposed in the pin hole 20 so as to be conjugate with the relay lens 21. When the detecting section is moved in an optical axis direction of the light flux which has a condensing point, an output of the electro-optic converting element 22 becomes maximum when the pin hole 20 coincides the condensing point of the light flux; thus, it is possible to detect the condensing point. Otherwise, it may be acceptable if an interference pattern shown in FIG. 6 is utilized. That is, the detecting section comprises a reflecting section 27 comprising a laser light source 23 and lenses (24, 25, and 26) disposed in a light flux in the dispersing light flux generating section 1 so as to reflect a part of the light flux along an optical path reversely and a reflecting section 28 the light flux which is ejected from the optical system 19 to be measured reversely.

[0072]

In a case in which the reflecting section 28 is a concave surface as shown in FIG. 6, it is disposed behind the condensing point. When a center of the concave surface coincides the condensing point of the light flux, the light flux is reflected reversely along the optical path which the light flux came. Therefore, an interference pattern can be obtained by an interference with the light flux which is reflected by the reflecting section 27. In a case in which the reflecting section 28 is a convex surface, the reflecting section 28 is disposed nearer to the optical system 19 to be measured than

the condensing point. When the center of the convex surface coincides the condensing point of the light flux, the light flux is reflected reversely in the optical path through which the light flux came. Therefore, an interference pattern can be obtained by an interference with the light flux which is reflected by the reflecting section 27.

[0073]

In a case in which the reflecting section 24 is flat, the light flux is reflected symmetrically to the optical axis when the condensing point of the light flux is on the flat plane. The reflected light flux interferes with the light flux which is reflected by the reflecting section 27; thus, an interference pattern is obtained.

[0074]

In any cases, the interference pattern is observed by a two dimension CCD sensor 31 and a monitor 32 via a lens 30. In this way, the reflecting section 28 is used as a detecting section for the condensing point.

[0075]

Furthermore, it may be acceptable the dispersing light flux generating section comprises an incoherent light source and a lens, and the condensing point detecting section is an optical system which has an eyepiece such that it is possible to observe the condensing point directly visually.

[0076]

It may be acceptable that the dispersing light flux generating section comprises a white light source and a monochrome meter which is a

spectrograph so as to measure a difference of the focal length according to a wave length in the optical system to be measured.

[0077]

It is explained that a number 11 which is obtained by assuming  $J=1$  in a calculation 3. However, the present invention is not limited to a case of  $j=1$ . It is possible to select  $j$  in  $N$  ways from 1 to  $N$ . Also, it may be acceptable if a focal length is determined by calculating the  $j$  in the calculation 3 by  $N$  ways of calculation and obtaining an average of a part of the calculation or an entire calculation.

[0078]

In the present embodiment, a refracting optical system is used for showing a disposition of the optical system to be measured. However, it is possible to measure the focal length of the reflective optical system as shown in FIG. 7 in which the light flux which is from the dispersing light flux generating section 1 is reflected in an optical system 34 to be measured so as to introduce the reflected light flux to the light flux condensing point detecting section 9 by refracting the light flux by a half mirror 33.